干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2019.04.06

库尔勒市2015年两次冰雹天气成因及雷达回波特征对比分析①

彭 军[1,2], 汤达章[1], 周雪英[2]

(1 南京信息工程大学大气科学学院,江苏 南京 210044; 2 新疆巴州气象局,新疆 库尔勒 841001)

摘 要: 利用常规探测资料、库尔勒多普勒天气雷达、风云2E静止卫星以及NCEP/NCAR提供的0.5°×0.5°再分析资料,对2015年发生在库尔勒市的两次冰雹天气从天气形势、环境背景及强对流云团结构等方面进行了成因分析,并重点对比了雷达回波特征。结果表明:4月17日冰雹天气为弱短波槽影响,系统浅薄,6月1日为低涡降雹,系统深厚。两次冰雹共性特征很多:在冰雹发生前,有强的垂直风切变,0 ℃层和-20 ℃层高度适宜且之间伴有浅薄的饱和湿层。通过塔里木盆地东南缘水汽的输送,云团在天山南麓及切变线附近合并降雹是这两次冰雹最突出的特征。雷达图中冰雹云发展中强回波中心值>55 dBz,配合有逆风区,存在明显的回波悬垂和弱回波区,强的垂直风切变是其发展和维持的主要原因。冰雹云形成于云顶亮温<-50 ℃的冷云盖东南边缘的云团合并处附近,并且主要沿中低层平均风方向移动。

关 键 词: 冰雹; 触发机制; 雷达特征; VWP

文章编号: 1000-6060(2019)04-0753-09(0753~0761)

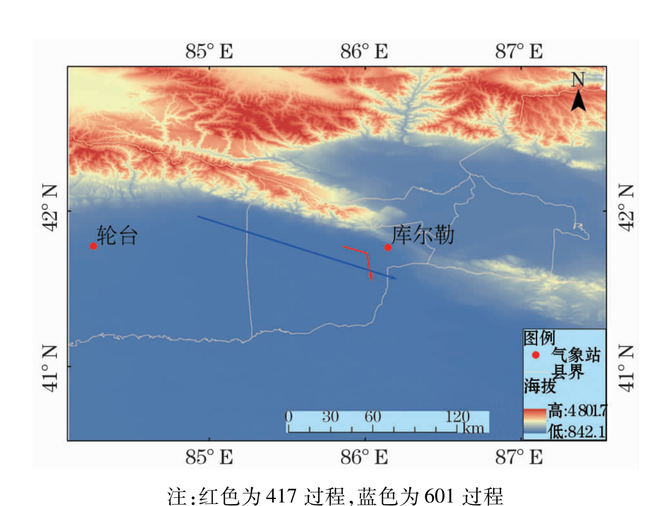
冰雹是巴音郭楞蒙古自治州(以下简称巴州)春夏季常见的灾害性天气之一,特别是在库尔勒市,其位于天山南麓,塔克拉玛干沙漠北缘,受地形影响易出现局地暴雨、冰雹等强对流天气,冰雹往往造成农作物绝收,后果十分严重。为减少冰雹灾害造成的损失,对于冰雹成因、物理机制的研究不断前行,研究发现适宜的0 ℃层和-20 ℃层高度及大的环境风垂直切变有利于雹粒的增长[1-3],产生冰雹的湿层相对浅薄,700~850 hPa水汽条件较好时,有利于冰雹、短时强降水的形成[4-6],垂直涡度与倾斜涡度发展旺盛,是造成大范围雹暴的主要原因,位涡的传输与对流单体的生成和移动相关[7-8]。近些年,在探测手段的不断发展下,对冰雹的预报预警有了长足的进步,并归纳出了很多天气特征及预报预警的指标。有研究发现移速快、膨胀迅速的云团易产生冰雹和强风,而移速缓慢,对流合并显著的云团易产生强降水和冰雹[9-10],超级单体强度越强,持续时间越长,造成的冰雹持续时间更长,雹灾更重[11],一些对于冰雹过程的雷达资料及产品分析发现,强冰雹的特点是组合反射率长时间维持在50 dBz以上,伴有弱回波区,逆风区与灾害性天气的落区有很好的对应关系;VIL和HI等雷达产品在冰雹预警中具有很好的使用价值[12-20]。对于库尔勒市的冰雹天气,2007年也总结了一些规律[21-22],但随着气候背景的变化,极端灾害性天气发生的时间和特征出现了新的变化。因此本文旨在通过对2015年4月17日和6月1日发生在巴州首府库尔勒市并造成严重农业损失的冰雹天气进行对比分析(以下简称417过程和601过程),包括两次过程中天气形势、物理量、环境场等特征、特别是利用风云2E卫星结合库尔勒天气雷达及自动站资料综合分析两次冰雹云的共性与特性,总结规律,以期更准确地做好此类冰雹天气的预警工作,将灾害损失降到最低。

1 天气实况及灾情

2015年春季及夏初,巴州地区受多降水的环流背景影响,强对流天气发生的时间早,频率高,特别是4月17日和6月1日库尔勒市遭受两次冰雹灾

① 收稿日期:2018-12-02; 修订日期:2019-03-24
基金项目:国家自然科学基金项目(41565003);中亚大气科学研究基金(CAAS201823);科技部公益性行业科研专项(GYHY201506009)
作者简介:彭军(1982-),男,高级工程师,本科,主要研究方向为中短期天气预报. E-mail:pj001982@163.com

害。417冰雹过程发生在16:30~17:30,直径约为10~15 mm,冰雹打落梨花及棉花生长点,造成经济损失约3×10^8元。601过程先在轮台县东部造成了的雹灾,直径约为20 mm,随后东移南下,在17:00~19:00之间致使417过程中库尔勒遭受冰雹灾害的部分乡镇再次受灾。两次冰雹过程均在午后从沿山地带发展,随后东南下成灾(图1),雹灾重复影响区域农民损失惨重,棉花、香梨基本绝收。



注:红色为417过程,蓝色为601过程

图1 两次冰雹云移动路径图

Fig. 1 Two hailstorm moving paths: Red for 417, blue for 601

2 资料和方法

利用常规气象探测资料、库尔勒多普勒天气雷达、风云2E卫星资料(可见光分辨率1.25 km)以及NCEP/NCAR提供的0.5°×0.5°再分析资料,通过天气形势、物理量分析,发现冰雹天气发生的背景,通过水汽诊断、天气触发机制以及雷达回波特征分析,揭示冰雹云的发生机理以及移动、演变的主要特征。

3 环流形势及物理量对比分析

3.1 环流形势分析

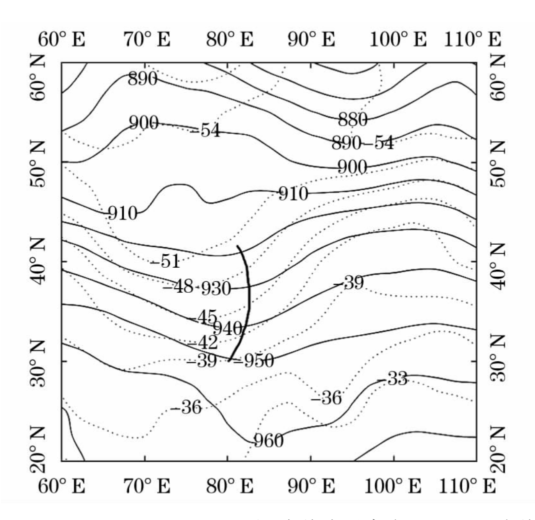
417过程影响系统为短波槽,前期伊朗副高稳定少动,其北侧为副热带锋区,当伊朗副高略有北抬,推动了副热带锋区上的短波槽东移。17日08时虽然500 hPa上以西风气流为主,但是300 hPa上(图2a)低槽明显进入南疆盆地。受其影响,盆地东南部先出现降水,至14时,铁干里克站降水达暴量,之后几小时库尔勒出现冰雹。

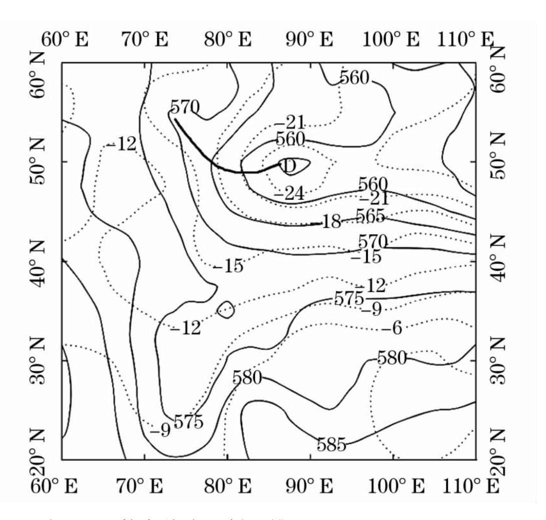
601过程影响系统为高空冷涡,欧洲脊发展东伸,推动西西伯利亚低涡东移南下,1日08时500 hPa图中(图2b),冷涡中心移动到了阿勒泰上空,并有-27 ℃冷中心,库尔勒处于低涡横槽前部偏西气流控制下。受冷涡影响塔里木盆地南部出现降水。

两次冰雹天气虽然影响系统不同,但是在冰雹发生前,塔里木盆地东南部都出现了系统性降水,低层增湿明显,低层水汽随着偏南气流向库尔勒方向不断输送,并且结合地形辐合抬升运动,致使午后库尔勒周边对流云团强烈发展,形成冰雹。

3.2 降雹物理量特征对比分析

通过库尔勒探空站以及其他三个探空站的物理量对比分析(表1)可知,两次冰雹天气发生前,库尔勒K指数都不高,SI在3~5之间,$CAPE$接近于0 J·kg^{-1},没有明显不稳定能量。6月1日08时对流有效抑制为237.5 J·kg^{-1},低层能量易于积聚,上游库





注:实线表示高度(dagpm),虚线表示温度(℃),棕色线表示低压槽

图2 高空位势高度、温度实况图

Fig. 2 Height fields and temperature fields

表 1　4 月 17 日 08 时和 6 月 1 日 08 时探空物理量指数

Tab. 1　Physical quantity index was at 08:00 BTS on April 17 and June 1

时间	站点	*K* 指数 /℃	*SI* 指数/℃	*CAPE* /J · kg^{-1}	*CIN* /J · kg^{-1}	0 ℃层高度/gpm	−20 ℃层高度/gpm	$T_{850}-T_{500}$ /℃	通气管指数 /m^2 · s^{-2}
2015-4-17 08:00	库尔勒	13	4.84	0	0	2 956.4	5 530.5	33	1 745.1
	库车	−2	5.6	0	0	3 070	5 415.5	34	697.7
	乌鲁木齐	18	9.18	47.6	3.1	1 550	5 389.1	21	1 825
	若羌	25	5.97	0.4	0	2 816.7	6 194.6	26	1 081.6
2015-6-1 08:00	库尔勒	24	3.57	0.3	237.5	3 506.7	6 324.6	30	1 518.5
	库车	25	−0.59	52.6	225.6	3 596	6 296.4	33	839.6
	乌鲁木齐	26	4.68	30.5	0	2 489.3	5 921.7	27	588
	若羌	24	2.7	0	0	3 865	6 625.5	30	1 095.7

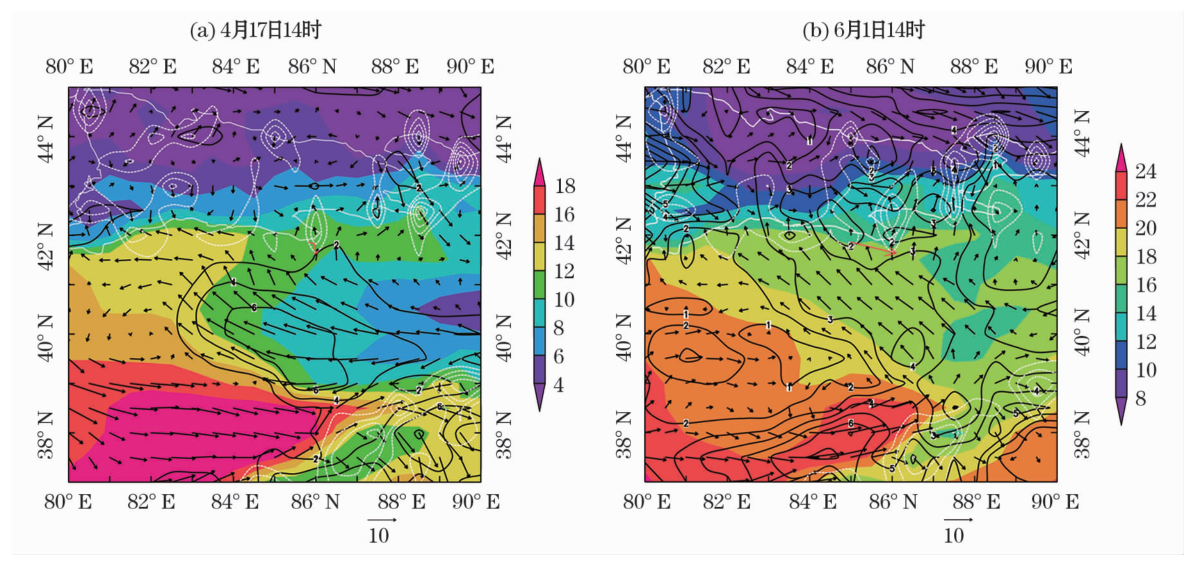
车站的各种物理量反映大气层结不稳定,有利于对流的发生。库尔勒和库车 0 ℃层高度均在 3 km 左右,−20 ℃层在 5~6 km,0 ℃和 −20 ℃层高度适宜,另外 $T_{850}-T_{500}$ 均大于 30,不稳定特征较明显,有利冰雹的形成。库尔勒通气管指数均在 1 500 m^2 · s^{-2}以上,具有强的垂直风切变,有利于强对流的发生及维持,从实况中发现当通气管指数超过1 000 m^2 · s^{-2}时其他站点在当天均出现了降水,这也说明垂直风切变与降水及对流发生有一定的相关性。

两次过程库尔勒站 *T*-log*P* 图中看出(图略),冰雹天气发生前,在 250 hPa 均有大于 40 m · s^{-1}的西南风,有利于高空辐散,形成强烈抽气作用。低层 850 hPa 分别为 6 m · s^{-1}偏北风和 12 m · s^{-1}东北风,与高层形成稳定的垂直风切变。在 600 hPa 附近均有浅薄的饱和湿层,有利于冰雹粒子的增长。

3.3　水汽集中及对流触发机制

库尔勒处于塔克拉玛干沙漠边缘,出现冰雹等强对流天气,水汽的输送与快速集中是其发生的关键因素。利用再分析资料计算冰雹过程中的低层水汽及风场等要素特征,从图 3 中可以发现,两次过程中塔里木盆地腹地都有气旋式流场,流场中心位于 39~40°N,82~83°E 附近,并在其东南侧为偏西暖空气与偏东、东南冷湿空气的切变。盆地东南部(已经出现降水的区域)高湿区不断有东南风将水汽向天山南麓输送,这为冰雹生长提供了必需的水汽,并且在天山地形作用下抬升,使冰雹生长区已有的上升运动得到加强,这些对于冰雹的发生起关键作用。

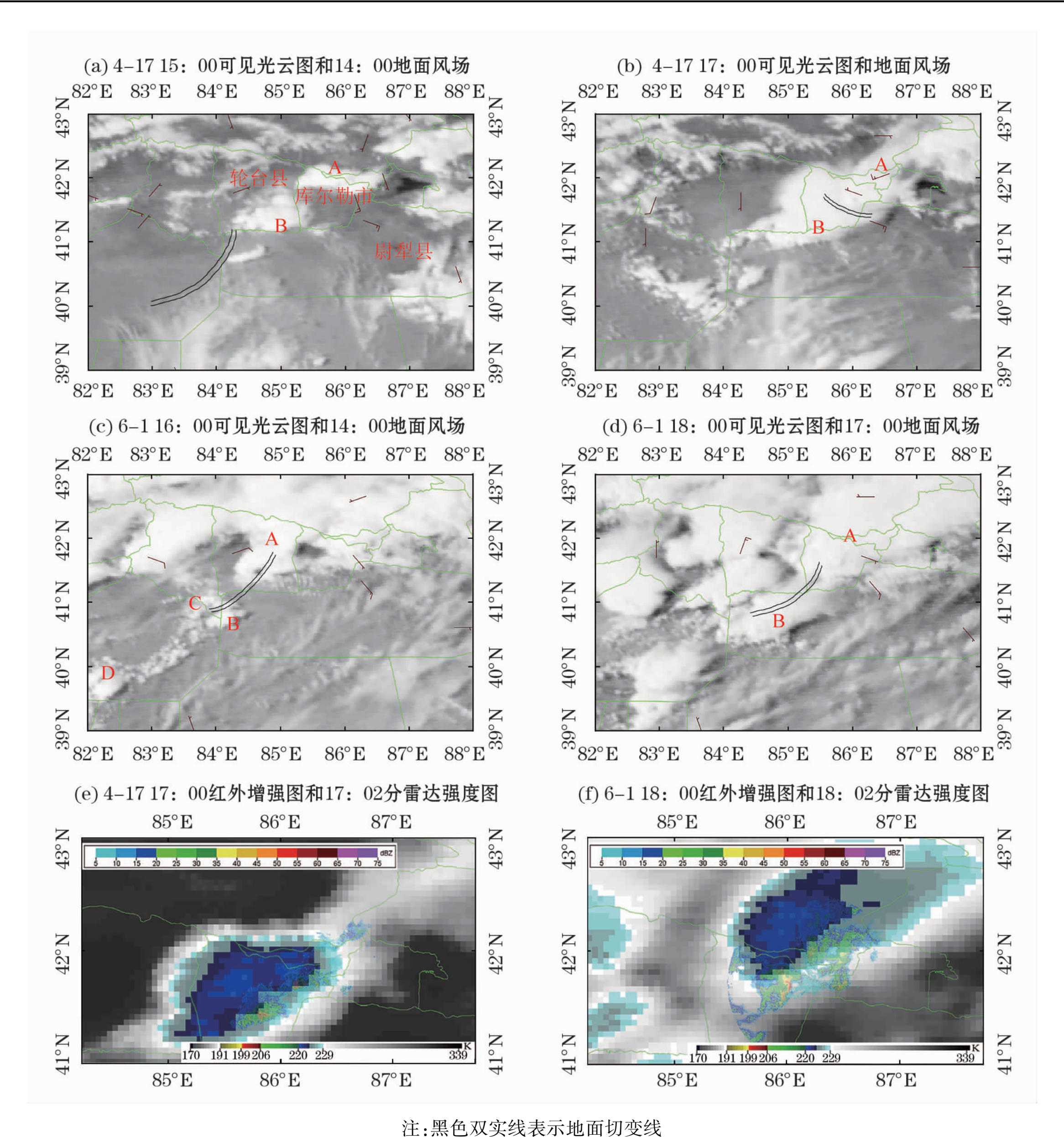
通过高分辨率可见光云图可以看出,417 过程中,随着低空及地面东南气流向山前的输送,15时



注:黑实线表示水汽通量(g · cm^{-1} · hPa^{-1} · s^{-1}),黑色箭头表示风场(m · s^{-1}),白色虚线表示垂直速度(Pa · s^{-1}),红色箭头表示冰雹路径,白实线表示天山山区

图 3　850 hPa 气温、水汽通量、风场及垂直速度图

Fig. 3　850 hPa temperature, the water vapor flux, wind and vertical speed



注：黑色双实线表示地面切变线

图 4　云图与地面风场综合图和雷达强度叠加图

Fig. 4　Visible satellite images and the surface wind field and the radar base reflectivity image

（图 4a）在库尔勒北山出现了接近山脉走向的对流云团 A，在轮台境内切变线附近的对流云团 B 明显发展，到 17 时（图 4b），对流云图 B 随着高空引导气流东北上与 A 云团合并增强并形成冰雹云，并且在切变线附近出现明显的上冲云顶。601 过程中，16 时（图 4c）轮台与库尔勒之间为东南风与东北风切变，切变线北部轮台境内形成了强对流云团 A，另外在气旋式流场中心周边形成了 B、C、D 连为一体的对流云带，到 18 时（图 4d），在高空西南气流引导下，A 云团东移到库尔勒境内，并且也出现上冲云顶，同时 B、C、D 云团均快速发展东北上，其中 B 云团逐渐追赶上 A 云团且与之合并发展。

从红外云图叠加雷达基本发射率图可以发现，降雹云团均随高空气流呈椭圆形以及西南—东北走向，其云顶黑体亮温 < －50 ℃的冷云盖面积较大，冰雹出现在冷云盖东南边缘的云团合并处附近。

4　雷达特征分析

4.1　雷达基本反射率特征对比分析

4 月 17 日 14 时开始，在库尔勒西北山前开始有分片的层状云。半小时后出现了大于 35 dBz 的回波中心，并向东南移动，至 14:59（图 5a），回波中心加强到 50 dBz，为云图（图 4a）中的对流云团 A，

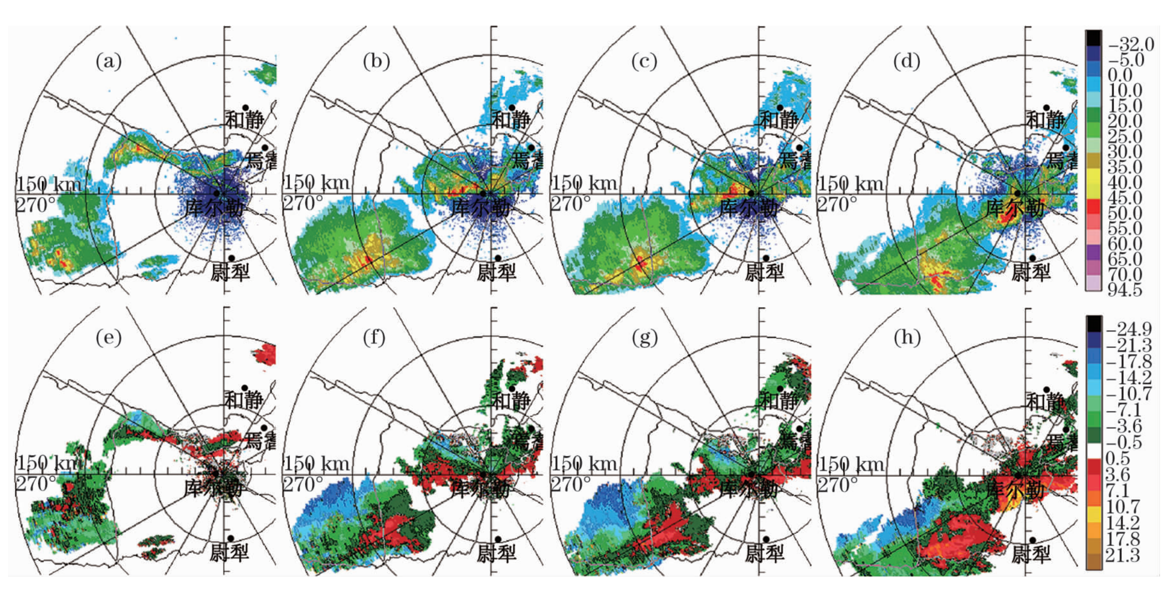
在此发展阶段,回波中心下方并未出现降水。之后的 1 h,强回波缓慢移动约 15 km,中心强度下降,但是其后部对流继续发展,对流云在库尔勒西北造成小雨。至 16:30(图 5b),强回波 30 min 移动 20 km,移速快且中心强度增强至 56 dBz,此时冰雹云回波结构特征清晰。16:46(图 5c)冰雹云在对流云 A 和 B 结合过程中达到了最强盛时刻,回波中心强度达到 60 dBz。0 ℃到 -20 ℃层之间回波强度增强至 55 dBz,此时造成兰干乡出现密集降雨并伴夹杂着冰雹。至 17:29(图 6d),冰雹云东南下到了哈拉玉宫乡,中心强度降到了 50 dBz,同时中心高度降到了低层,冰雹天气转为短时强降水,17~18 时该站降水量达 15.3 mm,随后对流云团继续东南下并逐渐减弱。

6 月 1 日 15:03(图 6a),库尔勒西边对流云开始发展,雷达西北 150 km 左右出现了中心大于 35 dBz 的对流云即云图(图 4c)中云团 A。至 16:03(图 6b)库尔勒西北的混合云系减弱并造成了小雨,而轮台东部的强回波快速移动,1 小时移动了近 40 km,其强度中心增强到 60 dBz,其南部还有多个分中心在增长。16:35(图 6c)冰雹云在轮台境内强烈发展,剖面中(图略)55 dBz 强回波超过了 -20 ℃层,回波悬垂、弱回波区明显,因此造成了轮台东部一带的短时强降水及冰雹天气。17:02(图 6d)冰雹云回波维持并进入库尔勒境内。至 18:02(图 6e),冰雹云回波又东南移动了 40 km,从剖面图中(图略)冰雹云低层强回波为 65 dBz,在此过程中造成了 29 团扬排站的 1 小时 35.9 mm 短时暴雨及冰雹天气。至 19:02(图 6f)冰雹云回波东南下在包头湖、托布里其乡造成雹灾,此时冰雹云的强回波已主要集中在低层,虽然最强回波达到 60 dBz,但是雷达回波已发展成为以降水为主的絮状形态,后期降水回波从库尔勒过境后逐渐转向东北移动。

4.2　雷达径向速度特征对比分析

4 月 17 日 14:59(图 5e),库尔勒西北及西南方的强回波在径向速度图上有弱的逆风区存在,回波以负速度为主,强回波处为西北、东南风辐合。16:30(图 5f)低层主要为偏北风,负速度区面积和中心值均大于正速度区,以辐合为主,高层为西南风,在库尔勒西南 100 km 的逆风区与强回波对应。16:46(图 5g)低层负速度面积进一步扩大,中心值增强到 $-17.8\ m \cdot s^{-1}$,冰雹云回波处仍有弱的逆风区。17:29(图 5h)强回波移动到了雷达西南,低层以正速度为主,且正速度中心值大于负速度,呈辐散流场,之后强回波逐渐减弱。

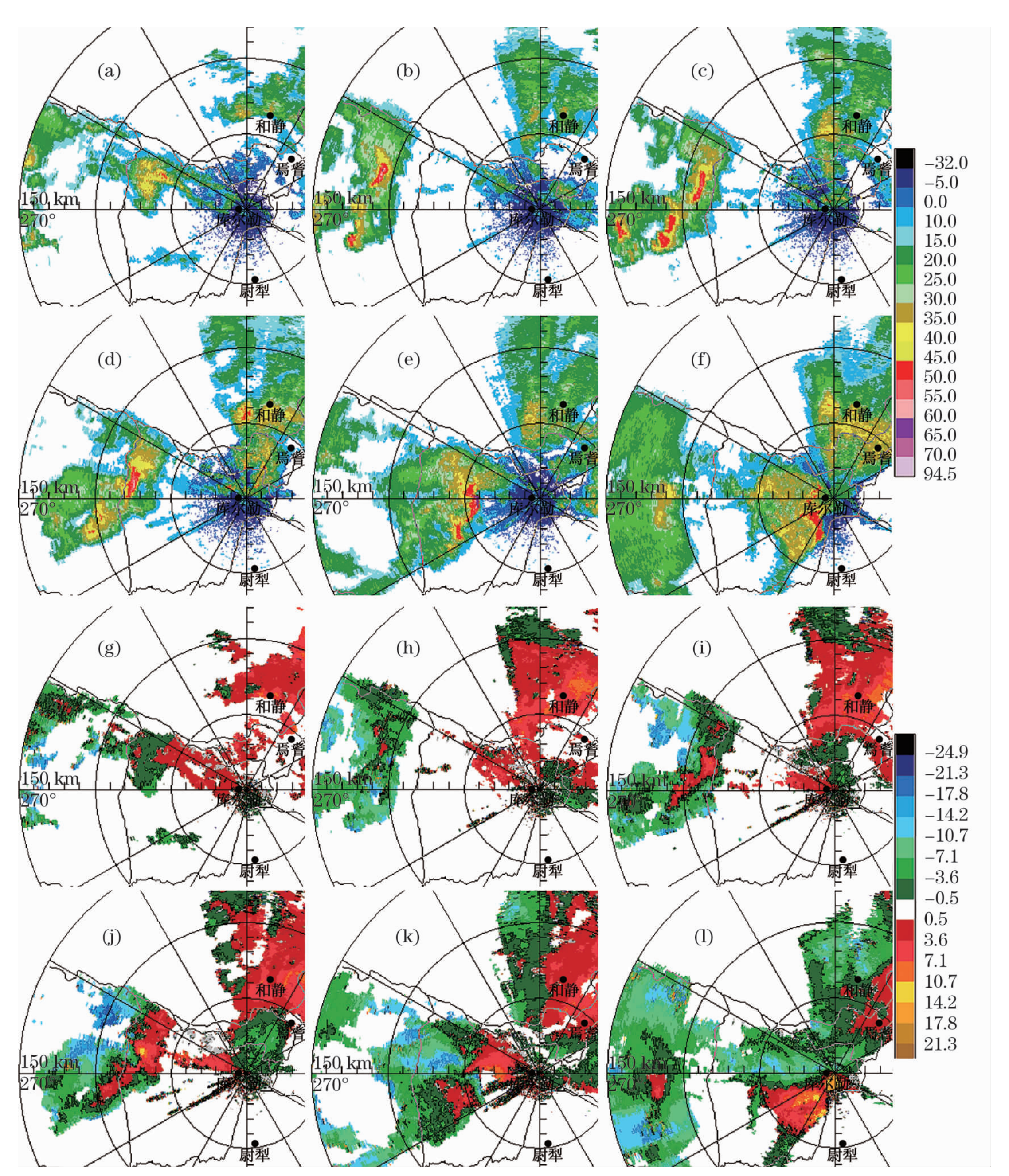
6 月 1 日 15:03(图 6g)库尔勒西北的混合降水回波处于风向辐合线附近,轮台东部的混合云回波有弱的逆风区并朝向雷达方向移动。16:03(图 6h)轮台东部混合云强烈发展并东南下,雷达站低层为东南风,以辐散流出为主。至 16:35(图 6i)逆风区范围扩大,与之相伴的冰雹云强回波不断增强,低层风向转为东北风,与高层西南层形成明显垂直风切



(a)、(e)14:59,(b)、(f) 16:30,(c)、(g)16:46,(d)、(h)17:29

图 5　4 月 17 日雷达基本反射率(a、b、c、d)和径向速度图(e、f、g、h)

Fig. 5　Basic reflectivity and radial velocity product on April 17



注:(a)、(g)15:03,(b)、(h) 16:03,(c)、(i) 16:35,(d)、(j) 17:02,(e)、(k) 18:02,(f)、(l) 19:02

图6 6月1日雷达基本反射率(a、b、c、d、e、f)和径向速度图(g、h、i、j、k、l)

Fig. 6 The base reflectivity and radial velocity product on June 1

变。至17:02(图6j),正速度范围进一步扩大,强回波中心风速为正值,处于辐合中心附近,其东西两侧出现了大于12 m·s^{-1}的正负速度对。18:02(图6k)在冰雹云北侧和南侧又分别出现了一个逆风区,冰雹云强回波中心成为正负速度共轭的共同体,中小尺度特征十分明显,中心负速度达 -15 m·s^{-1},南北两侧为弱的正速度,此时雷达站上空仍然维持低层东北和高层西南为主的垂直风切变。19:02(图6l)低层转为偏北风,强回波中心处于均一风场中。随后强冰雹回波的逆风区消失,低层正速度中心大于负速度中心且为辐散场时强对流天气结束。

5 雷达VWP产品应用

417过程中,VWP显示15:32分之前,只有高空出现少量西南风,之后中低层开始出现偏北风,在16时左右与高层形成了垂直风切变。冰雹云回波在16:20中心发展到60 dBz,VWP产品(图7a)风

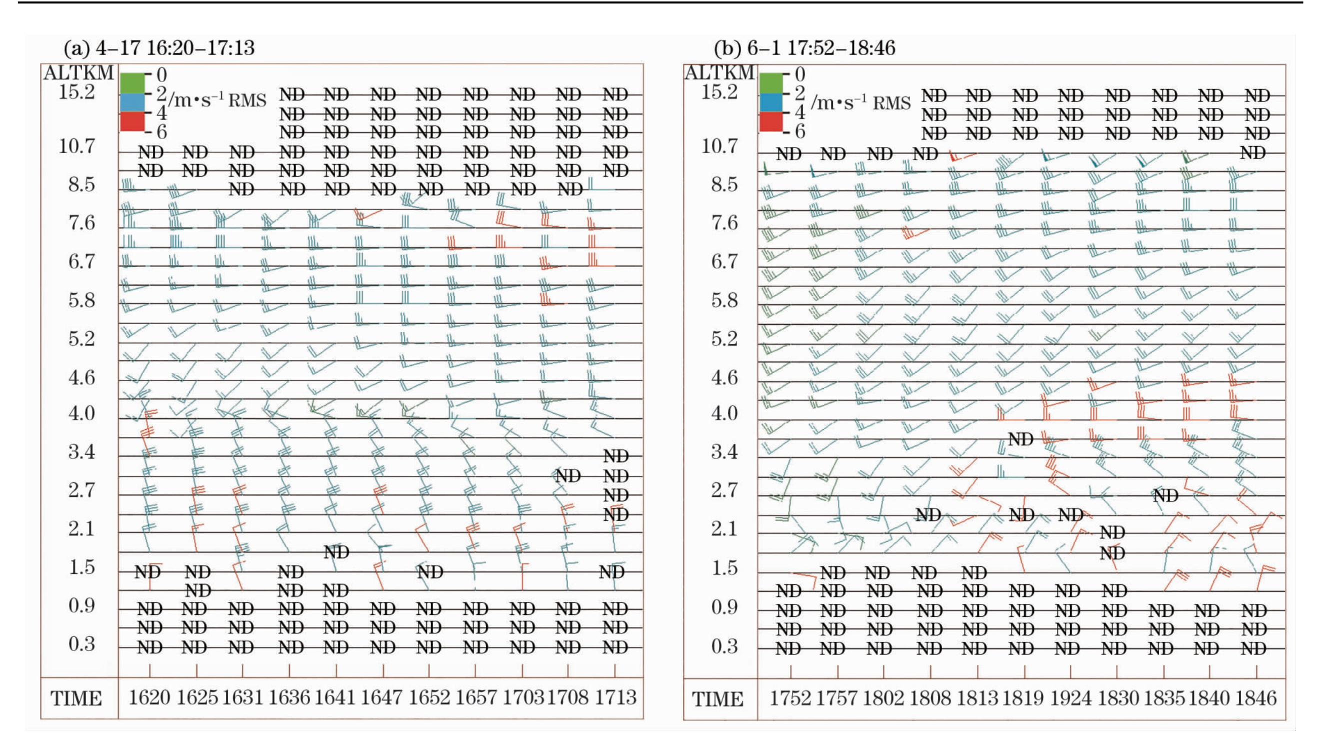


图 7　VWP(风廓线)产品

Fig. 7　The VWP product

向切变层稳定维持在 4 km 左右,冰雹云移动方向是沿中低层平均风向向南移动。17:08 开始中低层出现大量的"ND",后期中高层逐渐转为东北风,天气趋于结束。

601 过程中,冰雹云回波在 18:19 左右进入雷达 30 km 范围。在这之前 VWP 产品中(图 7b)17:14～18:19 低层到高层风场信息完整,且风随高度顺转,为暖平流。18:19 之后,高层保持西南风,低层风场从西南风转为西北风,此时中低层的风向与强回波移动路径一致,说明在强回波进入雷达 30 km 范围内,对低层环境风场造成了明显影响,由此可以判断强回波是在高层西南风,中低层西北风的垂直风切变环境中维持的。

6　结 论

(1) 从影响系统对比可知:417 过程为短波槽,高层 300 hPa 低槽明显,中低层系统不明显。601 过程为深厚的低涡系统,是典型的降水、强对流天气背景。

(2) 从降雹的物理量条件及环境场可知:两次过程中均具备了适宜的 0 ℃层和 -20 ℃层高度,两层之间存在浅薄的饱和湿层以及高低空较强的垂直风切变和不稳定层结,是有利于冰雹形成的环境场。

(3) 两次过程中低层在塔里木盆地腹地均出现了气旋式流场,其东南部首先出现了系统性降水且形成高湿区,东南风从高湿区将水汽不断向冰雹区输送并且在山前抬升汇集,库尔勒与轮台之间出现的东南风与东北风的切变线触发强对流,云图也反映出切变线附近快速的发展冰雹云,冰雹出现在云顶亮温 < -50 ℃的冷云盖东南边缘的云团合并处附近。

(4) 冰雹云回波中心强度均 > 55 dBz,其发展过程中均出现逆风区,强回波超过了 -20 ℃层,0～20 ℃层之间存在明显 > 50 dBz 强回波,601 过程冰雹云回波在强度上和持续时间上明显超过 417 过程,且回波悬垂和弱回波区表现更突出,这与其逆风区强以及维持时间长有直接关系。当强回波中心下降到低层,低层呈辐散流场时,冰雹天气趋于结束。

(5) VWP 分析两次过程均有强的垂直风切变,这是对流风暴得以发展和维持的主要原因,当冰雹云稳定形成后,主要沿中低层平均风向方向移动。

(6) 两个天气系统深厚程度存在一定差异,601 系统更加深厚,触发对流的切变线维持时间更长,在卫星和雷达图中反映为云团合并更广,因此冰雹持续时间更长,强度和影响范围更大。虽然天气系统存在差异,但是环境场、水汽输送、触发抬升机制存在许多相似之处,使得冰雹云形成的位置、移动的路

径、消亡过程存在一定共性。在有利的环境场下,通过塔里木盆地东南边缘水汽的输送,云团在天山南麓及切变线附近合并降雹是这两次冰雹最突出的特征,综合利用高分辨率卫星结合天气雷达、自动站资料可以有效的监测、判断区域的冰雹云发展、维持、移动和消亡过程,为冰雹预警提供支撑。

参考文献(References)

[1] 张霞,周建群,申永辰,等.一次强冰雹过程的物理机制分析[J].气象,2005,31(4):13－17.[ZHANG Xia,ZHOU Jianqun,SHEN Yongchen,et al. Physical mechanism analysis of a heavy hail event[J]. Meteorological Monthly,2005,31(4):13－17.]

[2] 许新田,王楠,刘瑞芳,等.2006年陕西两次强对流冰雹天气过程的对比分析[J].高原气象,2010,29(2):447－460.[XUN Xintian,WANG Nan,LIU Ruifang,et al. Comparative analyses on two severe convective hailstorm weather processes in Shaanxi Province in 2006[J]. Plateau Meteorology,2010,29(2):447－460.]

[3] 刘晶晶,刘还珠,曹晓钟,等.天津“6.25”大冰雹过程的中尺度特征及成因[J].应用气象学报,2011,22(5):525－536.[LIU Jingjing,LIU Huanzhu,CAO Xiaozhong,et al. The mesoscale characteristics and causes of a severe hail event in Tianjin[J]. Journal of Applied Meteorological Science,2011,22(5):525－536.]

[4] 汪应琼,李芳,姜玉印,等.湖北宜昌超级单体风暴发生的环境条件分析[J].暴雨灾害,2013,32(1):53－61.[WANG Yingqiong,LI Fang,JIANG Yuyin,et al. Analysis on environment conditions of supercell storms over Yichang,Hubei Province[J]. Torrential Rain and Disasters,2013,32(1):53－61.]

[5] 丁治英,王楠.两次飑线过程中短时强降水和冰雹强度差异及成因分析[J].气象科学,2015,35(1):83－92.[DING Zhiying,WANG Nan. Analysis on intensity difference and its causes of short-term heavy rainfall and hail in two squall line processes[J]. Journal of the Meteorological Science,2015,35(1):83－92.]

[6] 农孟松,赖珍权,梁俊聪,等.2012年早春广西高架雷暴冰雹天气过程分析[J].气象,2013,39(7):874－882.[NONG Mengsong,LAI Zhenquan,LIANG Juncong,et al. Analysis on elevated thunderstorm hail in Guangxi in early spring of 2012[J]. Meteorological Monthly,2013,39(7):874－882.]

[7] 黄艳,裴江文,胡素琴,等.新疆喀什两次超级单体致雹风暴特征对比分析[J].气象科学,2013,33(6):693－700.[HUANG Yan,PEI Jiangwen,Hu Suqin,et al. Comparative analysis on the features for two supercell hailstorms in Xinjiang Kashi[J]. Journal of the Meteorological Science,2013,33(6):693－700.]

[8] 孙莹,寿绍文,沈新勇,等.广西地区一次强冰雹过程形成机制分析[J].高原气象,2008,27(3):677－685.[SUN Ying,SHOU Shaowen,SHEN Xinyong,et al. Mechanism analysis of a severe hailstorm process in Guangxi[J]. Plateau Meteorology,2008,27(3):667－685.]

[9] 潘留杰,张宏芳,王楠,等.陕西一次强对流天气过程的中尺度及雷达观测分析[J].高原气象,2013,32(1):278－289.[PAN Liujie,ZHANG Hongfang,WANG Nan,et al. Mesoscale and doppler radar observation analyses on a severe convective weather process in middle Shaanxi Province in September 2010[J]. Plateau Meteorology,2013,32(1):278－289.]

[10] 蓝渝,郑永光,毛冬艳,等.华北区域冰雹天气分型及云系特征[J].应用气象学报,2014,25(5):538－549.[LAN Yu,ZHENG Yongguang,MAO Dongyan,et al. Classification and satellite nephogram features of hail weather in north China[J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology,2014,25(5):538－549.]

[11] 李圆圆,支竣,张超.2013年6月喀什地区一次强冰雹天气的成因分析[J].沙漠与绿洲气象,2014,8(2):19－26.[LI Yuanyuan,ZHI Jun,ZHANG Chao. Cause analysis of a strong hail weather in Kashi Area in June 2013[J]. Bimonthly of Xinjiang Meteorology,2014,8(2):19－26.]

[12] 张俊兰.南疆2011年5月一次强冰雹天气的综合分析[J].中国沙漠,2012,32(4):1119－1126.[ZHANG Junlan. Comprehensive analysis of a severe hail event in May,2011 in Southern Xinjiang[J]. Journal of Desert Research,2012,32(4):1119－1126.]

[13] 陈鲍发,魏鸣,柳守煜.逆风区的回波演变与强对流天气的结构分析[J].暴雨灾害,2008,27(2):127－134[CHEN Baofa,WEI Ming,LIU Shouyu. The echo evolution of adverse wind area and the structure of the strong convection weather[J]. Torrential Rain and Disasters,2008,27(2):127－134.]

[14] 魏勇,雷微,王存亮,等.石河子地区三次冰雹天气过程的综合分析[J].沙漠与绿洲气象,2013,7(1):21－27.[WEI Yong,LEI Wei,WANG Cunliang,et al. Comprehensive analysis on three hailstone episodes at the Shihezi Area in Xinjiang[J]. Bimonthly of Xinjiang Meteorology,2013,7(1):21－27.]

[15] 李斌,苏晓岚,王志龙,等.南疆塔里木盆地西部一次强冰雹天气过程分析[J].干旱气象,2013,31(4):790－795.[LI Bin,SU Xiaolan,WANG Zhilong,et al. Analysis on a severe hail weather occurred in western Tarim Basin of Southern Xinjiang[J]. Arid Meteorology,2013,31(4):790－795.]

[16] 陈英英,唐仁茂,李德俊.利用雷达和卫星资料对一次强对流天气过程的云结构特征分析[J].高原气象,2013,32(4):1148－1156.[CHEN Yingying,TANG Renmao,LI Dejun,et al. Analysis on cloud structure of a severe convective storm using radar and satellite data[J]. Plateau Meteorology,2013,32(4):1148－1156.]

[17] 张一平,俞小鼎,孙景兰,等.一次槽后型大暴雨伴冰雹的形成机制和雷达观测分析[J].高原气象,2014,33(4):1093－1104.[ZHANG Yiping,YU Xiaoding,SUN Jinglan,et al. Formation mechanism and analysis of radar observation of a heavy rainstorm accompanied by hail that back of trough[J]. Plateau Meteorology,2014,33(4):1093－1104.]

[18] 伍志方,庞古乾,贺汉青,等.2012年4月广东左移和飑线内超级单体的环境条件和结构对比分析[J].气象,2014,40(6):655－667.[WU Zhifang,PANG Guqian,HE Hanqin,et al. Comparative analysis of environmental conditions and structural features for the left-moving supercell and the supercell in squall line in April 2012 Guangdong[J]. Meteorological Monthly,2014,40(6):655－667.]

[19] 付双喜,安林,康凤琴,等.VIL在识别冰雹云中的应用及估测误差分析[J].高原气象,2004,23(6):810－814.[FU Shuangxi,AN Lin,KANG Fengqin,et al. Application of VIL in identifi-

cation of hailstorms and estimation error analysis[J]. Plateau Meteorology,2004,23(6):810 – 814.]

[20] 刁秀广,朱君鉴,黄秀韶,等. VIL 和 VIL 密度在冰雹云判据中的应用[J]. 高原气象,2008,27(5):1131 – 1139.[DIAO Xiuguang,ZHU Junjian,HUANG Xiushao,et al. Application of VIL and VIL density in warning criteria for hailstorm[J]. Plateau Meteorology,2008,27(5):1131 – 1139.]

[21] 李海燕,巴哈古丽,储鸿,等. 库尔勒地区两次强对流天气过程的形势和雷达回波对比分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2007,1(3):33 – 36.[LI Haiyan,Bahaguli,CHU Hong,et al. Comparative analysis on the two strong convection weather processes and radar echo in Kurle Area[J]. Bimonthly of Xinjiang Meteorology,2007,1(3):33 – 36.]

[22] 巴哈古丽,李海燕,热依汗古丽,等. 新疆库尔勒—尉犁地区一次冰雹天气过程分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2007,1(6):47 – 50.[Bahaerguli,LI Haiyan,Reyihanguli,et al. Analyze a case of hailstorm happened Weili-Kuerle Region in Xinjiang[J]. Bimonthly of Xinjiang Meteorology,2007,1(6):47 – 50.]

Comparative analysis of weather conditions and Doppler radar characteristics of two hailstorm events in Korla in 2015

PENG Jun[1,2], TANG Da-zhang[1], ZHOU Xue-ying[2]

(1 *Nanjing University of Information Science and Technology,Department of Atmospheric Sciences,Nanjing* 210044,*Jiangsu*,*China*;
2 *Bayingolin Mongol Autonomous Prefecture Meteorological Observatory*,*Korla* 841000,*Xinjiang*,*China*)

Abstract: By using conventional detection data,Doppler weather radar data,FY-2E geostationary satellite and the 0.5°×0.5° reanalysis data provided by NCEP/NCAR,the comparison between two hail weather courses occurred in Korla City,Xinjiang,China in 2015 were analyzed in this paper. The results showed that it was a shallow system with short-wave trough on 17th April 2015 while it was a deep system with vortex circulation on 1st June 2015. Before the occurrence of the hail,there was strong vertical wind shear and the height from the 0 ℃ layer to the −20 ℃ layer was suitable to have a shallow saturated wet layer between them. Due to the humidifying by the rainfall in the southeastern part of the Tarim Basin,water vapor was transported to the area with the cyclonic flow field and raised in front of mountain. The strong convection was triggered by the shear line between the southeast wind and northeast wind over Korla City and Luntai County. From the satellite image,the rapid development of hail clouds near the shear line was also reflected. The hail appeared near the southeast edge of the cold cloud cover with a cloud top temperature less than −50 ℃,where the cloud clusters merged. The hail system mainly moved along the average wind direction in the middle and lower layers. Both the two hail processes,the echo intensity of the center exceeded 55 dBz and the upwind zone occurred along with the development of the hail. The strong echo broke through the −20 ℃ layer and there was a strong echo with the intensity more than 50 dBz between 0 and −20 ℃ layer. The intensity and the time of duration of the hail on 1st June were much more than those on 17th April,especially for the echo overhang and weak echo regions,which was directly related to the strong upwind with long duration. When the center of the strong echo dropped to the lower level and the flow field of the lower layer was divergent,the hail weather tended to end. Under favorable environmental conditions,it was the most prominent feature of the two hails that the water vapor was transported at the edge of the Tarim Basin and cloud clusters combination resulted in hail near the shear line. It could provide useful support for hail warning by comprehensive utilization of the high-resolution satellites,weather radar and automatic station data to monitor and judge the development,retainment,movement and extinction of the hail cloud.

Key words: hailstorm; trigger mechanism; Doppler radar characteristics; VWP